

광양만 북동부 해역의 해류관측

이재철* · 김정창 · 박명원¹
부경대학교 해양과학공동연구소
¹국립해양조사원

Observations of Current in the Northeastern Gwangyang Bay

JAE CHUL LEE*, JEONG-CHANG KIM AND MYUNG WON PARK¹

Korea Inter-university Institute of Ocean Science, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea
¹National Oceanographic Research Institute, Incheon 400-800, Korea

1994년부터 1999년까지 노량수도와 그 서쪽 해역에서 1-2개월 동안 6회에 걸쳐 관측한 유속자료를 분석하여 광양만 북동부의 순환에 대하여 연구하였다. 노량수도에서는 광양만에서 진주만 쪽으로 평균 약 9 cm/s의 동향류가 지속적으로 흐르며 대도 북쪽의 좁은 수로를 통하여 평균 6-13 cm/s의 서향류가 관측되었다. 그러므로 관측결과는 광양만 북동부 해역에 대도를 중심으로 밀도 분포의 영향을 받는 반시계 방향의 순환이 있음을 시사한다. 이 순환은 여름철에 가장 강하고 갈수기인 겨울철에는 극히 약해질 수 있다. 바람의 영향이 순환에 미치는 영향은 작아서 유속이 강할 때에는 포착되지 않은 반면에 유속이 비교적 약한 지역이나 겨울철에는 남해안에 평행한 풍속과의 상관성이 높아 남해안 지역의 에크만 수송이 만 내의 순환에 영향을 주는 비국지적 반응에 해당된다.

Current velocity data from six moorings of 1-2 months from 1994 to 1999 are used to study the circulation in the northeastern Gwangyang Bay including the narrow passage of Noryang. In the passage, a steady eastward current flows with average velocity of about 9 cm/s out of Gwangyang Bay toward Jinju Bay. There is a westward current of mean velocity 6-13 cm/s in the passage north of Daedo. Therefore, observations suggest a cyclonic circulation around Daedo influenced by the density distribution. This circulation is strong in summer and can be extremely weak in winter. The influence of wind on the circulation is too weak to be detected in the strong currents, but the significant coherence between weaker currents and alongshore wind in winter or in the shallow area suggests the effect of non-local response associated with Ekman flux off the south coast of Korea.

Keywords: Gwangyang Bay, Current, Circulation, Wind, Coherence

서 론

한국 남해안의 중앙부 지역은 남해도에 의해서 서쪽의 광양만과 동쪽의 진주만으로 분리되고, 두 만은 매우 좁은 노량수도를 통해서 서로 연결되어 있으며 남쪽으로는 여수반도와 남해도 사이의 여수해만을 통하여 외해에 넓게 열려 있다. 광양만 북동부에는 대도가 남-북 방향으로 놓여 있는데, 대도의 남쪽 해역은 남해도와 사이의 폭이 상당히 넓고 비교적 얇은 반면에 북쪽으로는 매우 좁은 수로가 있으며 수심 20 m 이상의 골이 형성되어 노량수도 및 광양만 남쪽 해역으로 뻗어 있다(Fig. 1). 남해안에서 두 번째로 큰 섬진강은 광양만으로 직접 흘러 들어 많은 양의 담수를 공급함으로써 만 내의 해황에 커다란 영향을 끼치는데, 홍수통제소에 따르면 섬진강 하류의 유량은 약 20-6,000 m³/s의 범위를 가지고 있다. 이 지역은 최대조차가 4 m에 이르고 강한 조류 또한 이미 잘 알려져 있지만 조류는 왕복성인 반면에 잔차류, 밀도류,

취송류 등을 포함하는 해류는 일정한 방향으로 지속적으로 흐르기 때문에 크기는 비록 상대적으로 작다고 하더라도 이 지역의 대규모의 개발로 인해서 배출되는 오염물질의 이동과 확산에 중요한 역할을 하므로 이에 대한 규명이 필요하다. 특히 많은 양의 담수 유입과 강한 조류는 다른 하구역에 비해서 왕성한 난류혼합과 함께 활발한 순환이 일어날 수 있으며 하동화력발전소에서 배출되는 온배수 또한 해수의 밀도를 감소시켜 순환에도 일부 영향을 줄 수 있다.

광양만의 해수운동과 관련된 연구로는 1970년대의 장 등(1974)과 윤(1976)이 측류관 추적 및 염료확산 관측의 결과와 근래에 추(2002)와 추 등(2002)에 의한 수치실험이 있지만 장기간의 해류조사를 통한 순환에 대한 연구는 거의 없다.

본 연구는 광양만의 물리해양학적 연구의 일환으로서 1994년부터 1999년까지 6회에 걸쳐서 대도와 노량수도 부근해역에서 1-2개월 동안 유속계를 계류한 자료를 분석하여 광양만 북동부의 순환과 바람의 영향에 대하여 알아보았다.

*Corresponding author: jaechul@pknu.ac.kr

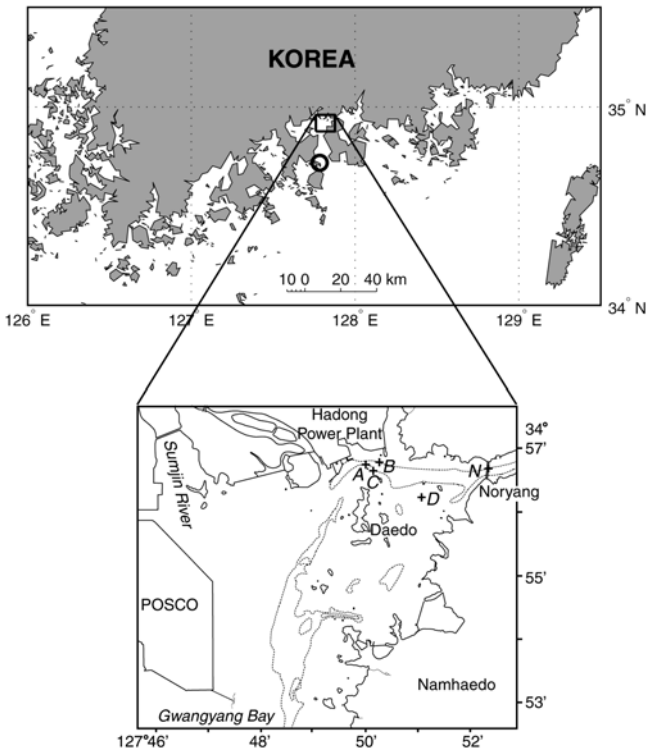


Fig. 1. Map of the south coast of Korea and enlarged map of north-eastern Gwangyang Bay showing the mooring stations of current meter (+). Dotted lines are the depth contours of 20 m and 30 m. Solid circle in the upper map denotes the tidal station at Yosü.

해양관측 및 자료분석 방법

1994년에서 1999년 사이에 광양만 북동부 해역에서 총 8회의 해류관측이 있었으며, 이 중에서 6회의 자료가 이용되었다(Table 1). 관측은 Aanderaa 사의 RCM 유속계를 수심 4 m에 계류하는 방법으로 이루어졌는데, RCM-7을 사용한 2회의 관측은 유속센서의 회전축에 얇은 해초가 감기거나 장비가 유실되어 실패하였다.

관측은 항상 2곳 이상의 지점에서 동시관측을 하였는데, 계류 위치는 노량수도의 항류에 대한 관심으로 매 번 남해대교 부근을 포함시켰으며 대도 북쪽의 정점들은 주로 어민들의 요청에 의해서 선정되었다. 정점 A, B, C는 대도 북쪽 수로에, D는 대도와 남해도 사이에 있고 노량수도의 정점은 N97과 N98로 표기되었다. 실제로 동시관측에 성공한 경우는 1998년 11월의 정점 B-N98과 99년 8월의 정점 A-D였다. 관측기간은 대부분 22-29일이나 정점

B에서는 67일간 계류장치가 유지되었다. 관측 시간간격은 20분이었고 정점 C에서만 10분 간격이었다.

관측된 유속자료는 우선 조화분석을 하여 조류성분을 추출한 후에 나머지 성분의 시계열 자료를 40시간 low-pass filtering 하였다. 조류와 단주기 성분이 제거된 유속자료는 조류의 비선형 효과에 의한 잔차류(residual current), 만 내의 밀도분포에 기인하는 밀도류와 바람의 영향이 반영된 장주기의 흐름을 포함하므로 본 논문에서는 이 흐름을 해류라고 부르기로 한다. 동일한 기간의 여수 측후소 바람 자료도 filtering을 한 후에 사용하였으며, 특히 2개월 이상 관측된 정점 B의 경우에는 여수 검조소(Fig. 1의 위쪽 지도에서 원으로 표시됨)의 조석관측 자료도 이용하였다. 조석자료는 여수 측후소의 현지 기압자료를 이용하여 대기압 보정을 하고 평균값을 뺀 후에 조화분석 및 filtering을 하였다. 자료 비교에 있어서는 시계열 자료의 직접비교와 주파수 영역의 상관성 분석(coherence analysis)을 병행하였다.

결과 및 고찰

해수순환

유속의 크기와 시간적인 변화를 파악하고 비교하기 위해서 모든 정점에서의 유속자료를 Fig. 2의 벡터 시계열로 표시하였다. 대도 북쪽 수로의 3 정점 중에서 A와 C에서는 북서향류가 강하고 방향의 변화가 크지 않다. 이 정점들은 Fig. 1에서 20 m 등심선이 대도 북단을 중심으로 동글게 굽은 쪽에 위치한 이유 때문에 북서향류로 기록된 것으로서 흐름의 기본적인 방향은 대도 북쪽에서 서향한 후에 대도 서쪽에서는 남향을 할 것으로 생각된다. 대도와 노량 사이의 정점 D에서도 대체로 서향류가 우세한 가운데 북서-남서향의 변화가 있다. 반면에 정점 B에서는 관측기간이 2개월 이상 길지만 유속이 5 cm/s 이하로 약하며 유향의 변화도 매우 심한 것이 특징이다. 한편, 노량수도에서는 동향류가 지배적이며 약간 남쪽으로 나타나는 것은 남해대교가 있는 정점 부근에 수로가 약간 굽어 있기 때문일 뿐으로 기본적으로는 광양만에서 동쪽의 진주만으로 흐르는 동향류에 해당한다.

각 위치에서의 유속자료를 Fig. 3과 같이 누적시켜서 도시하면 유속변화의 전체적인 효과를 보다 쉽게 파악할 수 있는데, 각 위치의 괄호 안에는 평균유속을 표시하였다. 아래의 축척은 유속의 누적된 효과를 비교하기 위한 것으로서 정점간의 거리나 해류가 실제로 이동한 거리를 뜻하지는 않는다. 정점 A와 C의 유향 차이는 전적으로 지형적인 원인으로 보이는데, 정점 C가 굽어진 20 m 등심선의 남동쪽에 위치하기 때문에 북향 성분이 크게 나타났을 것이다. 다만 유속에 있어서는 여름철에 관측된 정점 A에서 평균

Table 1. Summary of current meter moorings

Station	Instrument	Latitude (N)	Longitude (E)	Time (Duration, days)
C	RCM-7	34°56.628'	127°50.116'	29/10/94-28/11/94(29)
N97	RCM-7	34°56.750'	127°52.358'	21/02/97-19/03/97(27)
N98	RCM-9	34°56.713'	127°52.351'	22/11/98-13/12/98(22)
B	RCM-9	34°56.803'	127°50.277'	22/11/98-27/01/99(67)
A	RCM-9	34°56.770'	127°50.200'	13/08/99-04/09/99(22)
D	RCM-9	34°56.240'	127°51.080'	13/08/99-04/09/99(22)

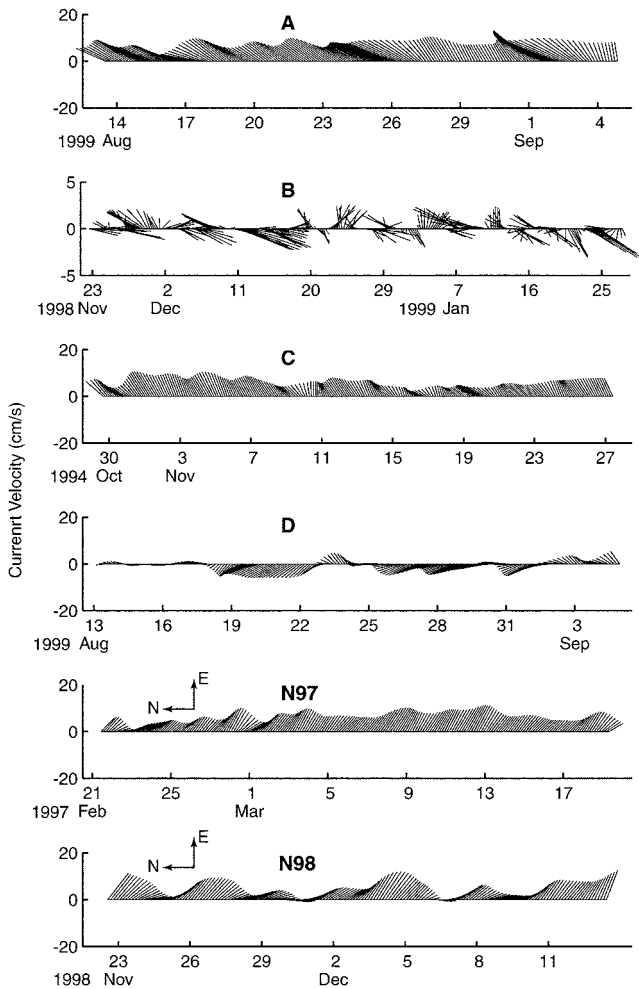


Fig. 2. Stick vector plots of low-passed current velocity. Limits of y-axis at Station B are -5 and 5 cm/s. Axes are rotated at Noryang stations (N97 and N98).

14 cm/s로 가장 크고 11월에 관측된 정점 C에서는 6.3 cm/s로 작은 것은 만 내 순환의 계절변화가 가장 중요한 원인일 것이다. 한편, 정점 D에서는 A와 같은 기간 동안 관측되었지만 서향류의 크기가 6.6 cm/s로 작은 것은 지형이 얇고 넓기 때문으로 생각되며, 결과적으로 이 지역의 서향류는 대도 북쪽의 좁은 수로를 통과하면서 약 2배 이상 가속되는 것으로 나타난다.

정점 B의 경우는 매우 특이한데, 도면에 날짜를 표시할 수 없을 정도로 유속이 작으며 유향의 변화 또한 매우 심하여 67일간의 기록에 평균유속은 0.6 cm/s에 불과하고 더구나 동쪽 방향의 흐름이 우세하였다. 조류의 유속에 있어서는 정점 A 혹은 C와 유사하므로 정점 B의 지형적인 요인 때문에 이 곳에서만 흐름 전체가 약했다고 볼 수는 없고 겨울철인 관측기간 동안에 이 해역의 순환이 극히 약해졌기 때문인 것으로 판단된다. 같은 지역에 위치한 정점 A, C, B의 유속은 각각의 관측 시기가 8월, 11월, 12-1월로서 여름에 가장 강하고 갈수기인 겨울에 가장 약한 특징을 보여준다. 실제로 정점 B의 관측기간에 섬진강 지류 지역에 속하는 남원 측후소의 강수량을 보면 1998년 11월 22일의 12 mm 이후에 거의 없다가 관측기간의 끝 무렵인 1999년 1월 23일에 29 mm를 기록했을 뿐이다. 이 결과는 광양만의 순환이 강수량과 담수의 유입에 따른 밀도분포에 의해 큰 영향을 받는다는 것, 그리고 갈수기에는 해류에 의한 순환이 거의 정지하거나 반대 방향으로 일어날 수도 있음을 암시한다.

대도 북쪽의 수로 부근에서 서향류가 지배적인 것과는 반대로 노량수도에서는 공통적으로 지속적인 동향류가 관측되었는데, N97과 N98의 유향 차이도 남해대교 부근의 수로가 국지적으로 좁아 있어서 관측위치의 차이에 따라 해안지형의 영향을 크게 받기 때문일 것이다. 두 관측 모두 겨울철에 이루어졌지만 강수량이 증가하는 1997년 3월에는 비교적 증가된 유속이 지속되는 것을 알 수 있다.

정점 B를 예외로 하면 A, C, D에서는 서향류가, 노량수도에서는 동향류가 있어서 발산되므로 정점 D와 노량수도 사이의 지역에서 해류가 분리될 것이고 이러한 해류의 발산은 남쪽으로부터

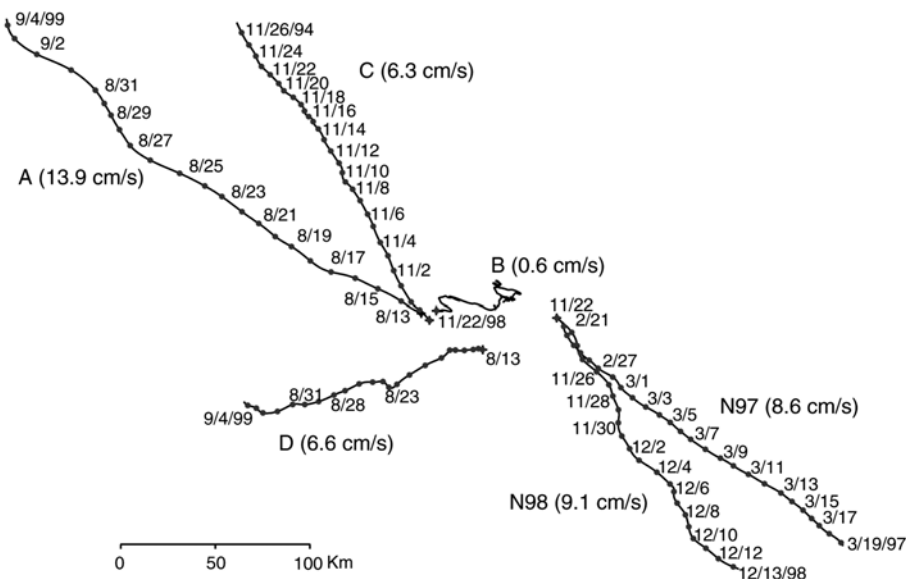


Fig. 3. Progressive vector plot of current velocity. Scale ruler is only for the estimation of integrated velocity data, not the distance of Lagrangian movement. Mean speeds are given in the parentheses.

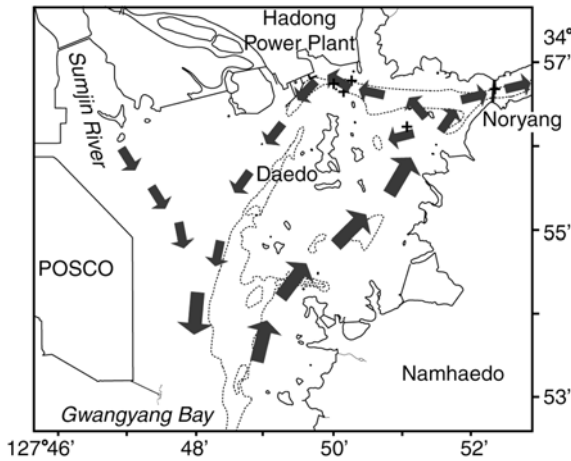


Fig. 4. Schematic map suggesting the circulation in the northeast area of Gwangyang Bay.

북향하는 해류를 필요로 한다. 비록 대도 남쪽의 넓은 해역에서 관측한 결과는 없지만 이 지역을 따라 들어온 해류의 일부는 노량수도를 통해서 진주만으로 유출되고 나머지는 대도 북쪽의 협수로를 통해서 서쪽으로 가속되면서 흐른 다음에는 넓어진 서쪽 해역을 따라 섬진강의 담수와 함께 남하하는 반시계 방향의 순환이 있으리라는 것을 유추할 수 있다. 이러한 순환의 형태가 Fig. 4의 모식도에 정성적으로 제시되어 있다.

만이나 하구의 순환에는 염분의 수평적 구배, 바람의 영향, 그리고 담수의 유출이 중요한 요인으로 꼽힌다(Hansen and Rattray, 1965). 대부분의 부분혼합형 염하구(estuary)에서 외해 쪽으로 흐르는 상층의 저염수와 역류하는 저층의 외해수가 조류에 의한 난류혼합의 영향을 받는 2층의 연직순환구조를 보이는데, 이 외에도 광양만과 같이 넓은 지역에서는 섬진강의 담수가 지구 자전의 영향으로 서쪽의 광양제철(POSCO) 쪽으로 편향되어 남하하는 경향을 띠어 밀도 분포에 따른 만 내의 수평적인 순환이 일어날 수 있다. 한 예로 Fig. 5는 2006년 5월에 관측한 표층 수온과 염분의 분포도인데 고온저염의 저밀도수가 만의 서쪽 지역에, 비교적 저온고염의 해수가 동쪽에 분포하여 반시계 방향의 순환이 가능함을 보여준다. 섬진강 하구에 인접한 하동화력발전소의 온배수의 배출 또한 밀도 감소 효과를 가져와 반시계 방향 순환에 일부 기여할 것이다.

노량수도에서 두 차례에 걸친 관측은 비록 겨울철에 국한되었지만 지속적인 동향류를 공통적으로 보였는데 그 원인은 광양만과 진주만 사이에 압력구배가 있기 때문일 것이다. 광양만은 섬진강 때문에 담수의 유입량이 상대적으로 많으며 넓고 깊은 여수해만을 통해서 외해에 열려 있는 반면에 진주만의 동쪽 입구는 상대적으로 좁고 얇아 외해의 영향을 적게 혹은 느리게 받을 것으로 보인다. 앞으로 광양만과 진주만의 동시관측을 통해서 보다 정확하게 규명될 필요가 있다.

바람의 영향

앞에서 광양만의 순환이 밀도분포의 영향을 많이 받으며 계절적인 변화를 한다는 것을 보여 주었지만 바람의 영향도 검토할 필

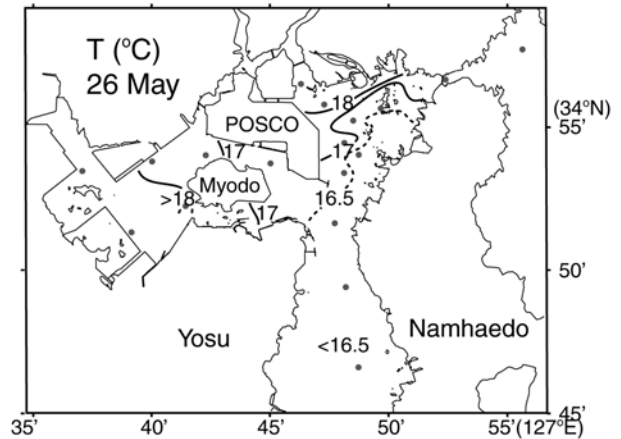
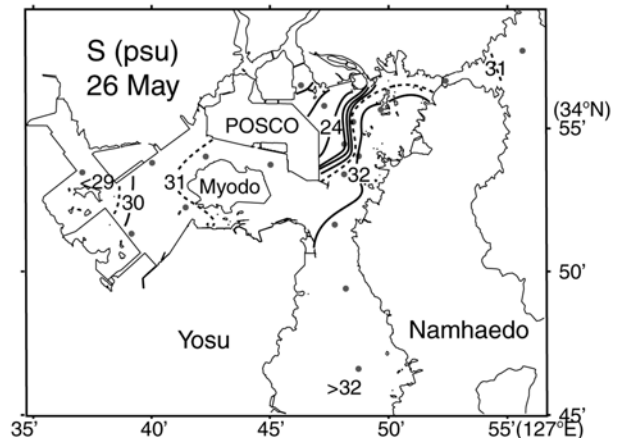


Fig. 5. Distribution of surface temperature and salinity observed on 26 May, 2006. Contour intervals are 1°C for temperature and 2 psu for salinity.



요가 있다. 유속자료(Fig. 2)와 풍속의 관계를 시각적으로 비교하기 위해서 여수 측후소에서 관측된 풍속 벡터를 Fig. 6에 도시하였다. 전반적으로 바람과 유속과의 관련이 분명하지 않은데, 1994년 정점 C의 경우에 11월 12-19일의 강한 북풍이 유속자료에 크게 반영되지 않았고 1997년과 1998년의 풍속과 노량수도 자료(N97, N98) 역시 상관성을 보이지 않는다. 1998년 11월~1999년 2월의 바람과 정점 B의 유속 또한 상관성을 파악하기에 쉽지 않다. 끝으로 1999년 8월의 바람은 동시관측 정점 A와 D의 유속을 비교할 수 있는데, 유속이 강한 A의 경우에는 상관성이 결여되어 있는 반면에 유속이 약했던 D에서는 8월 19~25일의 변화에서 바람의 영향을 확인할 수 있다.

특히 정점 B에서 관측된 유속은 크기는 비록 작지만 변화가 가장 심했다는 점에서 매우 큰 관심의 대상이고 또한 그 기간이 2개월 이상으로 길었기 때문에 바람이나 해수면과의 상관성 분석에서 보다 신뢰도가 높은 결과를 얻을 수 있다. 그러므로 보다 효과적인 비교를 위해서 각 벡터를 동서(x)성분과 남북(y)성분으로 나누어 여수 검조소의 해수면 관측자료와 함께 Fig. 7에 나타내었다. 필요한 경우에 부호를 반대로 하거나 작은 유속은 두 배, 그리고 큰 값의 해수면 자료는 반으로 하여 동일한 y 축에 함께 포함시켰다. 가장 위의 그림 (Fig. 7a)에서는 동서 성분의 바람(w)

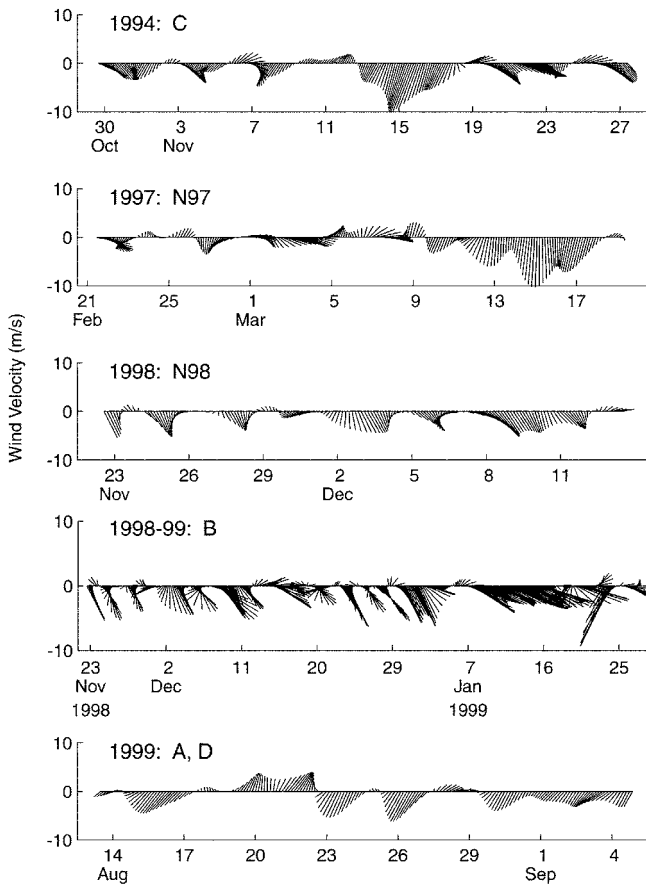


Fig. 6. Stick vector plot of low-passed wind at Yosue. Corresponding current stations are given next to the year at the top of each plot.

과 반대 부호의 해수면(-h/2)을 비교할 수 있는데, 각각의 상승 및 감소 경향이 거의 일치한다. 반면에 남-북 성분의 바람(w_x)과는 상관성이 매우 작게 나타나는데(Fig. 7b), 11월 하순에서 12월 4일 전까지와 1월 21일 이후를 제외한 나머지 부분에서는 함께 변화하는 모습을 보기 어렵다.

유속과 해수면과의 관계는 Fig. 7의 (c)와 (d)에 비교되어 있다. 동향류(u)와 해수면의 관계(Fig. 7c)를 보면 상당히 많은 경우에 같이 변화하는 것을 볼 수 있고 북향류(v)와의 비교(Fig. 7d)에서는 상관성이 다소 떨어진다. 따라서 해수면이 상승할 때 외해 쪽으로부터 해수가 유입되므로 동향류가 강해지는 것으로 설명된다.

Fig. 7의 (e)와 (f)에는 u 와 풍속이 비교되어 있는데, u 와 w_x 의 변화경향이 비교적 잘 일치한다(Fig. 7e). 이것은 동쪽으로 바람이 강해지면 반대방향인 서향류가 강해진다는 역설적인 결과이지만 이에 대해서는 다음의 상관성분석 부분에서 논하기로 한다. 반면에 u 와 w_y 의 사이에는 12월 4-8일, 1월 20-28일을 제외하면 상관성이 보이지 않는다. 마지막으로 $2v$ 와 바람과의 관계 역시 전반적으로 뚜렷한 상관성이 나타나지 않고 있다(Fig. 7g, h).

주파수 영역의 상관성분석을 한 결과, 큰 유속의 정점 A, C, N97, N98에서는 상관성이 낮았던 반면에 작은 유속의 정점 B와 D에서만 유의한 결과를 얻었다. 우선 정점 B의 결과를 Fig. 8에 나타내었는데 바람-해수면의 관계인 Fig. 8a에서 w_x 는 모든 주파

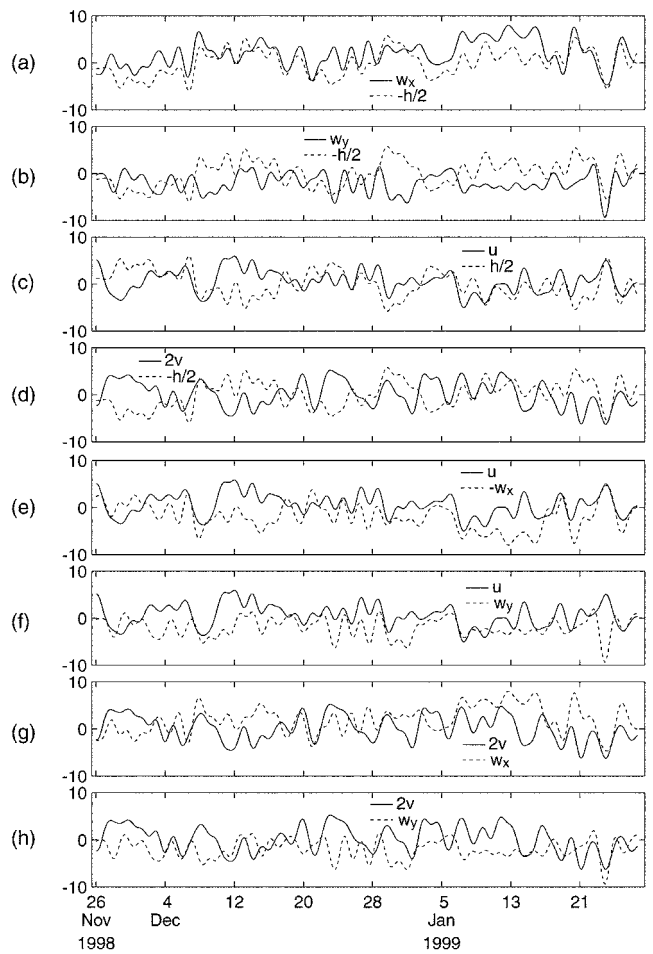


Fig. 7. Comparisons of low-passed time series of wind (w), sea level (h) at Yosue and current velocity (u, v) at Station B. Each data was adjusted for easy comparison if necessary.

수에서의 상관성이 높고 약간의 오차를 고려하면 위상은 180° 로 서 앞의 Fig. 7a처럼 동풍($w_x < 0$)에 의해 해수면이 상승함을 알 수 있다. 풍속과 해수면의 관계에 있어서 본 논문에 도시하지는 않았지만, 풍속의 동-서 축을 0° 로 하여 5° 씩 반시계 방향으로 증가시켜 각 축의 풍속성분과 해수면의 상관성을 구한 결과에서도 동-서 성분과 상관성이 가장 높았고 남-북 성분과 가장 낮았다.

이 결과는 남-북 방향인 여수해만에서 그 직각 방향인 동쪽으로 바람이 불 때 여수의 해수면이 하강함을 의미하며, 이것은 외해에서 남해안에 평행한 동-서 방향의 바람에 의한 에크만 수송에 따라서 해수면이 변화하는 것으로 해석하는 것이 역학적으로 타당하다. 즉, 동쪽으로 바람이 불면 외해(남) 쪽으로 에크만 수송이 일어나서 광양만의 바깥 쪽으로 해수가 유출되므로 해수면이 하강하는 것이다. w_y 와는 전체적으로 상관성이 낮고 약 0.3cpd (cycles per day) 이상에서만 어느 정도 상관성을 보이며 위상이 90° 를 중심으로 분포하는 것은 북쪽으로 부는 바람에 대하여 바람 방향으로 해수가 움직여 해수면이 상승하는데 걸리는 시간이 해당 주기의 $1/4$ 정도가 소요됨을 뜻한다. Wang and Elliott(1978)과 Wang (1979)은 미국 체사피크(Chesapeake) 만의 연구에서 전자에 해당하는 외해-만의 상호작용을 비국지적 반응(non-local response), 후

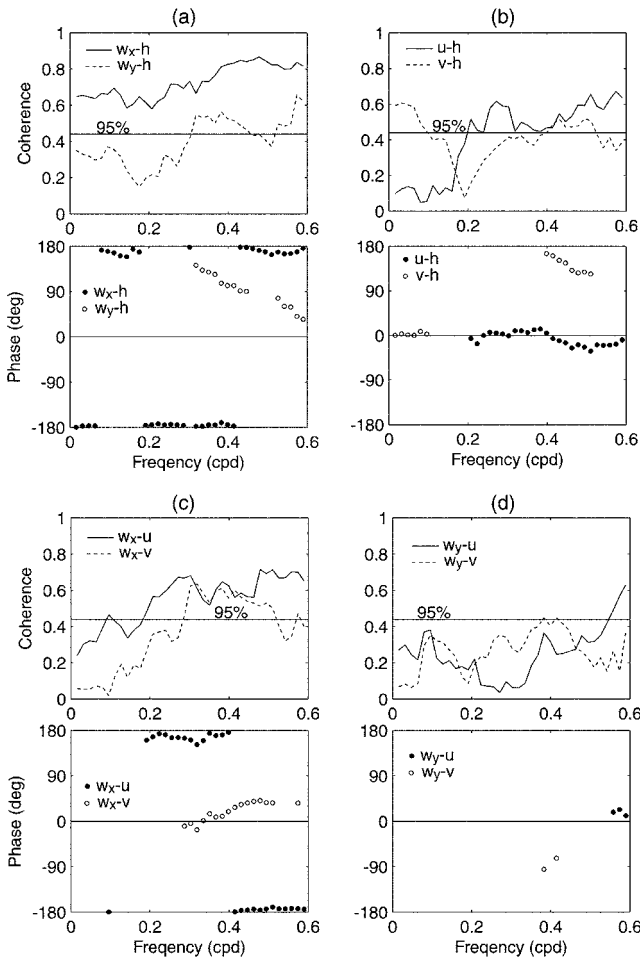


Fig. 8. Coherence analysis of pairs of time series for Station B. Only significant parts of the phase are shown.

자를 만 내의 바람에 의한 국지적 반응(local response)으로 구분하였고 Valle-Levinson *et al.*(2001)의 관측에 의해서 다시 확인되었다. 체사피크 만에서는 비국지적 반응의 영향이 5일 이상의 주기에서 중요하였고 2.5일(0.4cpd) 주기에서는 국지적으로 만에 평행한 바람과 높은 상관성을 보였는데, 여수해만의 경우에 비국지적 반응에 대해서 모든 주파수에서 높고 국지적인 w_x 와의 사이에는 약 3.3일 주기 이하에서 비교적 낮은 상관성을 나타내었다. 이는 여수해만의 입구가 넓어 외해의 영향을 크게 받는 대신에 만의 길이가 짧아서 국지적인 바람의 영향은 그만큼 작기 때문일 것이다.

유속과 해수면의 상관성(Fig. 8b)은 비교적 낮으나, u-h의 상관성이 0.2 cpd 이상에서 약간 유의하고 위상은 일치한다. 이것은 해수면의 상승과 만의 끝 방향의 동향류와 일치하는 비국지적 반응에 해당되는 것으로서 시계열 자료의 직접비교(Fig. 7c)를 확인해준다. v-h의 상관성은 상당히 낮으며 0.4 cpd 이상에서 위상이 180°에 가까운 것은 지형적인 요인으로 유속의 축이 북서-남동 방향으로 약간 기울어져서 동향류는 남향류의 성분을 가지게 되기 때문일 것이다.

바람과 유속과의 관계에서는 w_x 만 유의한 상관성을 가지는데 (Fig. 8c), 이 또한 비국지적 반응에 의한 것이다. w_x-u 는 0.4 cpd

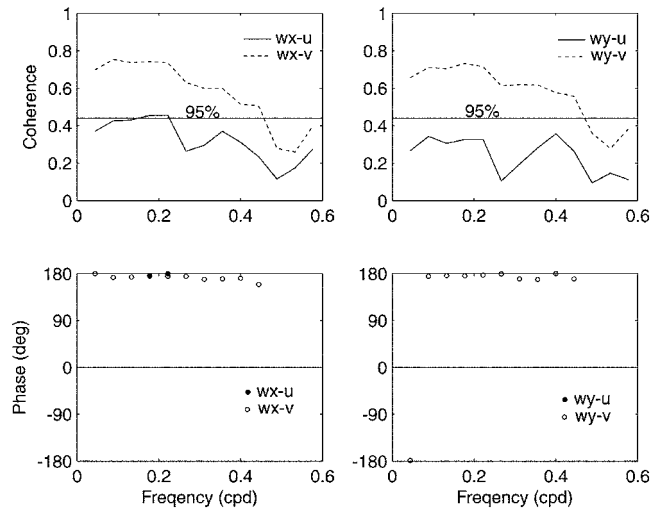


Fig. 9. Coherence analysis between wind and current at Stations D. Only significant parts of the phase are shown.

이상에서 상관성이 좋고 180°에 가까운 위상은 서풍($w_x > 0$)에 의한 외해로의 에크만 수송과 이에 따른 서향류($u < 0$)의 관계를 말해준다. w_x-v 는 보다 좁은 주파수 대에서 비교적 낮은 상관성에 위상차가 작는데 이 역시 지형적인 요인을 반영한 것일 뿐이다. Fig. 8d는 만 내의 해수 운동에 국지적 반응이 거의 영향을 주지 못한다는 것을 보여준다.

약한 서남서향류가 지배적이었던 정점 D의 결과를 Fig. 9에 나타내었다. w_x-v 와 w_y-v 가 0.44 cpd 이하의 장주기에서 180°의 위상을 갖는 상관성이 비교적 높은 반면에 u 성분과의 상관성은 낮다. 이는 비교적 강한 서향류 성분(u)은 다른 대부분의 정점처럼 바람과는 관계 없는 순환에 해당되고 약한 남향류 성분에만 바람의 영향이 나타나므로 그만큼 바람의 효과가 작다는 것을 뜻한다. w_x-v 의 관계는 비국지적 효과로 설명이 가능하지만 w_y-v 의 관계는 국지적 효과로 이해 할 수 있다. 즉, 앞에서 정점 D와 노량수도 사이의 발산하는 흐름을 보충하기 위한 북향류가 존재할 것이라고 예상하였는데 국지적인 남-북 성분의 바람은 북향류에 직접 영향을 주어 위상차가 없을 것이고, 이 북향류의 서쪽에 위치한 것으로 생각되는 정점 D에서는 반류에 해당하는 남향류의 변화로 나타나기 때문에 180°의 위상차가 생긴다는 설명이 가능하다.

요약 및 결론

1994년부터 1999년까지 6회에 걸쳐서 대도와 노량수도 부근해역에서 1-2개월 기간의 유속계를 계류한 자료를 분석하여 광양만 북동부의 순환에 대하여 연구하였다. 관측이 노량수도와 대도 북쪽의 수로에서 주로 이루어졌는데 양쪽으로 발산하는 지속적인 해류를 보충하기 위한 북향류의 존재가 필요하고 이에 따라 연구해역에는 반시계 방향의 순환이 있으며 그 중의 일부가 노량수도를 통해서 진주만으로 유출된다는 해석이 가능하다. 이 순환은 담수의 유입에 따른 만 내의 밀도분포의 영향이 가장 커서 여름철에 강하고 갈수기인 겨울철에는 극히 약해질 수 있다.

일반적으로 커다란 만이나 하구의 순환에는 바람도 중요한 역

할을 하지만, 유속이 강한 기간이나 지역에서는 바람의 영향이 나타나지 않았는데 이것은 그 만큼 바람의 영향이 작다는 것을 의미한다. 약한 해류의 경우에만 동-서 성분의 풍속과 유의한 상관성을 보였으며, 이것은 남해안에 평행한 바람에 의한 에크만 수송의 영향이 넓은 입구를 가진 여수해만을 통해서 미치는 비국지적 반응이다.

계절적으로나 관측위치의 분포에 있어서 제한된 자료를 이용하여 광양만 북동부 해역의 순환과 바람의 영향에 대하여 연구하였는데 앞으로 보다 체계적인 조사를 통해서 구체적으로 규명될 필요가 있다. 그리고 1990년대 후반에 이루어진 하동화력발전소 부지의 매립으로 인하여 만 내의 순환이 얼마나 달라졌는지는 본 조사와 동일한 위치에서 다시 유속관측을 하여 비교할 필요도 있을 것이다.

참고문헌

- 윤갑동, 1976. 광양만의 해수유동에 관하여. 한국어업기술학회지, **12**: 41-56.
- 장지원, 한영호, 윤갑동, 양용립, 김천덕, 1974. 광양만의 물리적 해황에 관한 연구(I). 한국어업기술학회지, **10**: 1-18.
- 추효상, 2002. 매립으로 인한 광양만의 유동변화 수치실험. 한국환경과학회지, **11**: 637-650.
- 추효상, 이병걸, 이규형, 2002. 다층 진단모델에 의한 광양만의 잔차류 수치실험. 한국환경과학회지, **11**: 41-56.
- Hansen, D.V. and M. Rattray, Jr., 1965. Gravitational circulation in straits and estuaries. *J. Mar. Res.*, **23**: 104-122.
- Valle-Levinson, A., K.-C. Wong and K.T. Bosley, 2001. Observations of the wind-induced exchange at the entrance to Chesapeake Bay. *J. Mar. Res.*, **59**: 391-416.
- Wang, D.P. and A.J. Elliott, 1978. Non-tidal variability in the Chesapeake Bay and Potomac River: Evidence for non-local forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, **8**: 225-231.
- Wang, D.P., 1979. Subtidal sea level variations in Chesapeake Bay and relations to atmospheric forcing. *J. Phys. Oceanogr.*, **9**: 413-421.

2006년 8월 21일 원고접수

2006년 11월 24일 수정본 채택

담당편집위원: 장경일